Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 3, Fall. 2019, p. 491-502

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸، ص. ۵۰۲-۴۹۱

اثر تنش گرمای آخر فصل بر برخی صفات زراعی، فیزیولوژیک و عملکرد روغن ارقام گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) در شرایط آب و هوایی اهواز

فرشاد صالحی[۱]، افراسیاب راهنما قهفرخی[۲]*، موسی مسکرباشی[۳]، خسرو مهدیخانلو[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۰۹/۱۴
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۰۱/۲۵

چکیده

تنش گرما یکی از تنش‌های غیرزیستی مهم در مناطق گرمسیری و نیمه‌گرمسیری است که به شدت، رشد و عملکرد گیاهان زراعی را کاهش می‌دهد. به‌منظور بررسی واکنش رشدی و عملکردی ارقام گلرنگ زراعی به تنش گرمای آخر فصل، پژوهشی به‌صورت کرت‌های یک‌بار خردشده در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار در سال زراعی ۹۷- ۱۳۹۶ در مزرعه آزمایشی دانشگاه شهید چمران اهواز، اجرا شد. تنش گرما به‌صورت تأخیر در تاریخ کاشت و هم‌زمانی مراحل رشد زایشی با تنش گرمای آخر فصل در نظر گرفته شد. کرت‌های اصلی این آزمایش شامل سه تاریخ کاشت ۲۰ آذر، ۱۰ دی و ۳۰ دی (به‌ترتیب تاریخ کاشت به هنگام، تأخیری و دیرهنگام) و کرت‌های فرعی شامل چهار رقم گلرنگ زراعی (گلدشت، پرنیان، صفه و فرامان) بود. تنش گرما سبب کاهش معنی‌دار عملکرد زیست‌توده، عملکرد دانه و فعالیت آنزیمی کاتالاز و افزایش شاخص برداشت، غلظت کلروفیل کل برگ و فعالیت آنزیم پراکسیداز شد، اگرچه واکنش ارقام متفاوت بود. بیشترین میزان عملکرد دانه و زیست‌توده مربوط به رقم فرامان در شرایط شاهد به‌ترتیب با میانگین ۴۱۵۱ و ۲۳۳۵۲ کیلوگرم در هکتار بود. وقوع تنش گرمای آخر فصل منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه ارقام صفه، پرنیان، فرامان و گلدشت به‌ترتیب به میزان ۵۳، ۴۴، ۶۰ و ۴۷ درصد در تاریخ کاشت ۳۰ دی نسبت به تاریخ کاشت ۲۰ آذر شد که این میزان به‌ترتیب برابر با ۱/۳۲، ۱/۱، ۱/۵ و ۱/۱۷ درصد به ازای هر روز تأخیر در تاریخ کاشت بود. براساس شاخص حساسیت به تنش (SSI)، ارقام پرنیان و گلدشت با مقادیر ۰/۸۵ و ۰/۹۲ از تحمل بالایی برخوردار بودند؛ در حالی‌که ارقام فرامان و صفه با شاخص ۱/۱۶ و ۱/۰۳ حساسیت زیادی نسبت به تنش داشتند. به‌طور کلی نتایج این پژوهش نشان داد که در صورت تأخیر در تاریخ کاشت، توصیه می‌شود که از رقم گلدشت استفاده شود، چرا که عملکرد دانه و روغن آن نسبت به سایر ارقام برتری قابل توجهی در تاریخ‌های مختلف کاشت داشت.

واژه‌های کلیدی: آنزیم‌های آنتی‌اکسیدان، تنش گرمایی، درصد روغن، عملکرد دانه

مقدمه

گلرنگ (*Carthamus tinctorius* L.) یکی از مهم‌ترین گیاهان دانه روغنی است که در سال‌های اخیر کشت آن به جهت کیفیت بالای روغن آن (بیش از ۹۰ درصد اسیدهای چرب غیراشباع به‌ویژه اسید لینولئیک)، در بسیاری از کشورهای دنیا مورد توجه قرار گرفته است. با این وجود، اطلاعات کمی در رابطه با گلرنگ در مقایسه با دیگر گیاهان روغنی به‌ویژه در ارتباط با محدودیت‌های محیطی موجود است (Torabi *et al*., 2015; OZ, 2016). در این میان با توجه به نقش مهم عوامل محیطی و اثر مستقیم آن‌ها بر رشد و عملکرد گیاهان زراعی، مطالعه اثرات این عوامل بسیار ضروری و مهم است؛ چرا که جهت معرفی یک گیاه زراعی به یک منطقه، روابط و برهمکنش آن با عوامل زراعی، ژنتیکی و محیطی باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد (Moosavi, 2014). تاریخ کاشت مناسب یکی از مهم‌ترین عوامل مدیریتی در تولید گیاهان زراعی به‌ویژه در مناطق دارای محدودیت‌های محیطی نظیر دمای بالا و محدودیت رطوبت در انتهای فصل رشد، است. انتخاب تاریخ کاشت مناسب، امکان رشد و توسعه کافی گیاه جهت دستیابی به عملکرد مطلوب و همچنین قابلیت انعطاف‌پذیری در برابر اثرات نامطلوب تنش‌های محیطی آخر فصل را فراهم می‌آورد. پیامدهای نامطلوب تاریخ کاشت‌های زودهنگام و دیرهنگام بر رشد و عملکرد گیاهان دانه روغنی در مطالعات پیشین گزارش شده است (Uzun *et al*., 2009; Safara, 2016). تحقیقات نشان داده است که تأخیر در کاشت پاییزه، منجر به برخورد مراحل زایشی گیاه با تنش دمای بالای اواخر فصل شده و رشد، متابولیسم و عملکرد گیاه را محدود می‌کند. رشد و توسعه گیاه شامل واکنش‌های بیوشیمیایی متعددی است که نسبت به درجه حرارت حساس هستند و واکنش گیاه به این تنش بسته به درجه (شدت) و مدت زمان وقوع

۱- دانشجوی دکترای گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
۲، ۳ و ۴- به‌ترتیب دانشیار، استاد و استادیار گروه زراعت و اصلاح نباتات، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز
(*- نویسنده مسئول: Email: A.rahnama@scu.ac.ir)
DOI: 10.22067/gsc.v17i3.76975

دمای بالا و نوع گیاه بسیار متغیر است (Hasanuzzaman *et al.*, 2013). بر این اساس، بـه نظر می‌رسد که جهت دستیابی به عملکرد مطلوب، با تنظیم زمان کاشت بتوان مراحل فنولوژیک گیاه را با شرایط مناسب فصل هماهنگ کرد. نتایج مطالعه ژنوتیپ‌های پاییزه گلرنگ (پدیده، زرقان و ورامـین ۲۹۵) در تاریخ‌های کاشت مختلف نشان داد که تأخیر در زمان کاشت باعث کاهش ۲۷ درصد در ارتفاع بوته، ۲۱ درصـد در وزن هزاردانه و ۳۷ درصد در عملکرد دانه گردیـد (Pasban Eslam, 2003). در بررسی واکنش سه رقم گلرنگ زراعی به تاریخ‌های مختلف کاشت گزارش شد که تاریخ کاشت به هنگام در یکم نوامبر (۱۰ آبان) بالاترین تعداد غوزه در بوته، وزن هر غوزه، تعداد دانه در هر غوزه، وزن صددانه، عملکرد دانه و عملکرد بیولوژیک را در مقایسه با تاریخ کاشت های دیرهنگام ۱۵ و ۳۰ نوامبر (به‌ترتیب ۲۴ آبان و ۹ آذر) داشت (Sahu and Thakur, 2016). صف آرا و همکاران (Safara *et al.*, 2016) نیز در بررسی واکنش عملکرد کمی و کیفی گلرنگ (رقم محلی اصفهان) به تاریخ‌های مختلف کاشت (۹ آذر، ۳۰ آذر، ۲ بهمن و ۱۲ بهمن) و سطوح مختلف کودی گزارش دادند که تأخیر در کاشت با کاهش تعداد دانه در غوزه و تعداد غوزه در بوته سبب کاهش عملکرد دانه شد. در تاریخ کاشت دیرهنگام ۱۲ بهمن، نیتروژن دانه به میزان ۱۷ درصد افزایش، ولی درصد روغن کاهش یافت. بالاترین درصد روغن به میزان ۲۵ درصد مربوط به تاریخ کاشت ۳۰ آذر بود. بیشترین عملکرد دانه و روغن نیز به‌ترتیب با میانگین ۳۵۹۰ و ۸۱۰ کیلوگرم در هکتار از تاریخ کاشت ۳۰ آذر حاصل شد که این میزان در کشت تأخیری ۱۲ بهمن، ۴۳/۵۰ درصد کاهش یافت. علاوه بر این، انتخاب ارقام مناسب نیز یکی دیگر از اجزای کلیدی مدیریت در مناطقی با محدودیت‌های محیطی برای تولید گیاهان زراعی ازجمله گلرنگ است. ارزیابی ارقام ایرانی گلرنگ نسبت به تاریخ‌های مختلف کاشت در دشت ساوه نشان داد کـه تأخیر در تـاریخ کاشـت باعث کاهش معنی‌دار عملکرد دانه و روغن شده که از این نظر بـین ارقـام مـورد بررسی، پدیده بیشترین عملکرد دانه و روغن را داشت (Omidi and Sharifmogadas, 2010).

با توجه به ویژگی‌های مطلوب زراعی گلرنگ نظیر مقاومت نسبی به شوری خاک و خشکی هوا یکی از اولویت‌های مهم کشت دانه‌های روغنی در استان خوزستان است که لازم است برای رسیدن به این هدف، ابتدا ارقام مناسب با این شرایط تعیین و به کشاورزان منطقه معرفی گردد. لذا هدف از این پژوهش، ارزیابی واکنش ارقام گلرنگ به تغییرات دمایی انتهای فصل در شرایط آب و هوایی اهواز بود.

مواد و روش‌ها

به‌منظور بررسی واکنش ارقام مختلف گلرنگ به تنش گرمای آخر فصل از طریق تغییر در تاریخ کاشت، پژوهشی مزرعه‌ای در سال زراعی ۹۷- ۱۳۹۶ در مزرعه آموزشی پژوهشی دانشکده کشاورزی دانشگاه شهید چمران اهواز اجرا شد. برخی از مشخصات خاک و پارامترهای آب و هوایی منطقه آزمایشی در طول فصل زراعی مذکور به‌ترتیب در جدول ۱ و ۲ نشان داده شده است.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک محل آزمایش

Table 1- Physical and chemical properties of the soil

Soil depth (cm)	Soil type	N (mg kg^{-1})	P (mg kg^{-1})	K (mg kg^{-1})	pH
0-30	Clay loam	0.58	8.1	169.3	7.6

جدول ۲- مشخصات آب و هوایی منطقه‌ی مورد آزمایش در سال زراعی ۹۷-۱۳۹۶

Table 2- Climate Parameters of experimental location in 2017-2018

Month	Temperature (°C)			Humidity(٪)			Precipitation (mm)
	Min	Max	Ave.	Min	Max	Ave.	
December	6.6	21.8	14.5	39.6	83.1	61.3	0.2
January	7.2	22.6	14.9	34.3	80.9	57.6	0.0
February	7.6	22.4	15.0	35.1	81.7	58.4	0.1
March	12.5	26.5	19.5	35.2	81.7	58.5	1.6
April	15.5	31.8	23.6	25.8	70.0	47.9	0.8
May	20.1	35.3	27.7	25.4	63.2	44.3	33.3
June	25.5	43.8	34.7	13.0	45.2	29.1	0.0
July	25.1	45.	35.5	13.4	44.2	28.8	0.0
Ave.	15.1	31.2	23.1	27.7	68.75	48.2	Total=36.0

طرح آزمایشی به‌صورت کرت‌های خرد شده در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار اجرا شد. تاریخ کاشت در کرت‌های اصلی و به‌ترتیب شامل ۲۰ آذرماه (تاریخ کاشت مناسب در منطقه، Safara *et al.*, 2016)، ۱۰ دی ماه (تاریخ کاشت با کمی تأخیر) و ۳۰ دی ماه (تاریخ کاشت دیرهنگام)، و ارقام مورد آزمایش شامل گلدشت، فرامان، صفه و پرنیان در کرت‌های فرعی قرار گرفتند. ارقام مورد بررسی از ارقام گلرنگ زراعی بدون خار و نسبتاً جدید بوده که توسط مؤسسه تحقیقات اصلاح و تهیه نهال و بذرکرج انتخاب و از آنجا تهیه شدند. پس از عملیات آماده‌سازی زمین بذور با قارچ‌کش ضدعفونی شده و با فواصل ردیف (پشته‌ها) ۵۰ سانتی‌متر و فاصله

بوته‌ها روی ردیف‌های کاشت ۳۰ سانتی‌متر در دو طرف پشته به‌صورت زیگزاگی کشت شد. طول ردیف‌های کاشت هر کرت ۳ متر و در هر کرت ۶ ردیف کاشت و فاصله دو کرت اصلی از هم یک متر منظور گردید. میزان کود موردنیاز بر اساس نتایج آزمون خاک، ۱۲۰ کیلوگرم اوره، ۸۵ کیلوگرم سوپر فسفات تریپل و ۳۰ کیلوگرم پتاسیم سولفات فسفات آمونیوم در هکتار برآورد شد که تمامی کود پتاسه و فسفاته به‌همراه نیمی از کود اوره (۶۰ کیلوگرم در هکتار) به‌صورت پایه در زمان کاشت و باقیمانده کود اوره در دو نوبت به میزان مساوی در دو مرحله پس از مرحله روزت و قبل مرحله گلدهی (با درنظر گرفتن مشاهده ۱۰درصد گلدهی در سطح مزرعه) به خاک اضافه شد. تنک کردن بوته‌ها در مرحله ۵ تا ۶ برگی و کنترل علف‌های هرز، چندین بار در طول فصل رشد به صورت دستی و مکانیکی انجام شد.

جدول ۳- زمان وقوع مراحل مختلف فنولوژیک ارقام گلرنگ در تاریخ‌های مختلف کشت

Table 3- Date of phenological stages for safflower cultivars

ارقام Cultivars	مراحل فنولوژیکی Phenological stages	تاریخ کشت اول - تاریخ وقوع Date of occurrence			تاریخ کشت دوم - تاریخ وقوع Date of occurrence			تاریخ کشت سوم - تاریخ وقوع Date of occurrence		
		ماه Month	روز Day	هفته Week	ماه Month	روز Day	هفته Week	ماه Month	روز Day	هفته Week
صفه Sofeh	آغاز سبز شدن	آذر	26	1	دی	20	2	بهمن	12	3
	آغاز چهار برگی	دی	15	4	بهمن	10	5	اسفند	2	6
	روزت	بهمن	2	6	بهمن	25	7	–	–	-
	آغاز ساقه‌دهی	اسفند	4	11	فروردین	14	14	فروردین	20	13
	آغاز گلدهی	فروردین	22	18	اردیبهشت	8	17	اردیبهشت	10	16
	آغاز پر شدن دانه	اردیبهشت	7	20	اردیبهشت	20	19	اردیبهشت	18	17
	رسیدگی فیزیولوژیک	خرداد	5	24	خرداد	10	22	خرداد	5	19
پرنیان Parnian	آغاز سبز شدن	آذر	26	1	دی	20	2	بهمن	12	3
	آغاز چهار برگی	دی	15	4	بهمن	10	5	اسفند	2	6
	روزت	بهمن	2	6	بهمن	25	7	–	–	-
	آغاز ساقه‌دهی	اسفند	4	11	فروردین	14	14	فروردین	17	12
	آغاز گلدهی	فروردین	22	18	اردیبهشت	8	17	اردیبهشت	10	16
	آغاز پر شدن دانه	اردیبهشت	7	20	اردیبهشت	20	19	اردیبهشت	20	17
	رسیدگی فیزیولوژیک	خرداد	5	24	خرداد	10	22	خرداد	10	20
فرامان Faraman	آغاز سبز شدن	آذر	26	1	دی	20	2	بهمن	12	3
	آغاز چهار برگی	دی	15	4	بهمن	13	5	اسفند	2	6
	روزت	بهمن	6	7	بهمن	25	7	–	–	-
	آغاز ساقه‌دهی	اسفند	8	11	فروردین	10	13	فروردین	17	13
	آغاز گلدهی	فروردین	18	17	اردیبهشت	4	17	اردیبهشت	12	16
	آغاز پر شدن دانه	اردیبهشت	31	19	اردیبهشت	15	18	اردیبهشت	20	17
	رسیدگی فیزیولوژیک	خرداد	5	24	خرداد	10	22	خرداد	10	20
گلدشت Goldasht	آغاز سبز شدن	آذر	26	1	دی	20	2	بهمن	12	3
	آغاز چهار برگی	دی	15	4	بهمن	10	5	اسفند	2	6
	روزت	بهمن	6	7	بهمن	25	7	–	–	-
	آغاز ساقه‌دهی	اسفند	8	11	فروردین	14	14	فروردین	17	12
	آغاز گلدهی	فروردین	18	17	اردیبهشت	4	17	اردیبهشت	12	16
	آغاز پر شدن دانه	اردیبهشت	31	19	اردیبهشت	15	18	اردیبهشت	18	17
	رسیدگی فیزیولوژیک	خرداد	8	25	خرداد	10	22	خرداد	5	19

۱۲ تا ۱۴ خرداد برداشت تمامی واحدهای آزمایشی

جهت تعیین میزان آب آبیاری مورد نیاز، قبل از انجام آزمایش ظرفیت زراعی و پژمردگی خاک تعیین و آبیاری بر اساس ۱۰۰ درصد نیاز آبی گیاه صورت گرفت (رابطه ۱).

$$dn = (\theta fc - \theta pwp) \times Drz \times MAD \quad (۱)$$

dn = (30% - 10%) ×50 ×60%

dn = 6 cm

dn = عمق خالص آب آبیاری

θfc = رطوبت حجمی در نقطه ظرفیت زراعی

θpwp = رطوبت حجمی در نقطه پژمردگی

Drz = عمق فعال ریشه گیاه مورد نظر (cm)

MAD = ظرفیت تخلیه گیاه مورد نظر (٪)

در نهایت صفات مورد بررسی در هر مرحله رشدی به تفکیک مورد ارزیابی قرار گرفت. جهت اندازه‌گیری صفات بیوشیمایی، در بازه زمانی ۷ تا ۱۰ روز پس از گلدهی، از آخرین برگ توسعه‌یافته محور اصلی ساقه چند بوته نمونه‌برداری صورت گرفت و به آزمایشگاه منتقل شد. به منظور سنجش غلظت کلروفیل کل از روش Arnon (1976) و با استفاده از طیف‌سنج UV-S مدل Lambda ez 210 (در طول موج‌های ۶۶۳ و ۶۴۵ نانومتر) قرائت گردید. غلظت کلروفیل کل از مجموع کلروفیل a و b بر طبق رابطه ۴ محاسبه شد:

Chlorophyll a = (19.3×A663-0.86×A645) V/100W (۲)

Chlorophyll b = (19.3×A645-3.6×A663) V/100W (۳)

Chl_{total} = Chl a+b (۴)

V= حجم محلول صاف شده (محلول فوقانی حاصل از سانتریفیوژ)

A= جذب نور در طول موج‌های ۶۶۳، ۶۴۵ و ۴۷۰ نانومتر

W= وزن تر نمونه بر حسب گرم

به منظور سنجش فعالیت آنزیم کاتالاز از روش دیندسا (Dhindsa *et al*., 1981) و آنزیم پراکسیداز از روش چنس و مهلی (Chance and Maehly, 1955) استفاده شد. در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک نیز جهت برآورد عملکرد دانه، ابتدا پس از حذف اثر حاشیه در هرکرت، با استفاده از کوادرات ۱×۱ متر مربع، نمونه‌برداری صورت گرفت. سپس بوته‌های مربوطه جداگانه به آزمایشگاه منتقل و در آون و در دمای ۷۵ درجه سانتی‌گراد به مدت ۴۸ ساعت خشکانده شدند و مجدد توزین و وزن ماده‌خشک (عملکرد بیولوژیک)، نمونه‌های آزمایشی محاسبه گردید. بعد از جدا نمودن بذرها و توزین دانه‌های هر کرت، عملکرد دانه ارقام مورد آزمایش در واحد مترمربع محاسبه شد. جهت تعیین درصد روغن از دستگاه سوکسله بر پایه تغییرات وزنی (Latif and Anwar, 2008) استفاده گردید. همچنین برای برآورد میزان حساسیت و یا تحمل به تنش ارقام مورد بررسی، از شاخص‌های حساسیت به تنش (SSI)، شدت تنش (SI)، تحمل (TOL) و تحمل به تنش (STI) پیشنهادی توسط فرناندز (Fernandez, 1992)، گیلانی (Gilani *et al*., 2009) و فیشر و مورر (Fischer and Maurer, 1978) تحت دو شرایط شاهد (تاریخ کاشت اول) و تنش گرما (تاریخ کاشت سوم) به‌ترتیب روابط زیر استفاده شد.

SSI (Stress Susceptibility Index)= $(1-\frac{Ys}{Yp})/SI$ (۵)

SI (Stress Intensity)= $(1-\frac{\bar{Y}s}{\bar{Y}p})$ (۶)

TOL (Tolerance)= *Yp* –*Ys* (۷)

STI Stress Tolerance Index= $\frac{(Ys)(Ys)}{(\bar{Y}p)2}$ (۸)

که Ys و Yp به‌ترتیب میانگین‌های عملکرد یک ژنوتیپ در محیط‌های تنش و بدون تنش هستند. SI، $\bar{Y}s$ و $\bar{Y}p$ به‌ترتیب شدت تنش، میانگین عملکرد تمام ژنوتیپ‌ها در شرایط تنش و بدون تنش هستند.

در نهایت تجزیه واریانس با استفاده از نرم‌افزار آماری $SAS_{9.4}$ و مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح آماری پنج درصد انجام شد.

نتایج و بحث

عملکرد دانه

نتایج داده‌های عملکرد دانه، حاکی از وجود برهم‌کنش معنی‌دار بین عامل‌های تاریخ کاشت و ارقام گلرنگ در سطح یک درصد بود. بیشترین میزان عملکرد دانه در این آزمایش مربوط به رقم فرامان در تاریخ کاشت اول با میانگین ۴۱۵۱ کیلوگرم در هکتار و کمترین میزان این صفت در رقم صفه در تاریخ کاشت سوم با میانگین ۱۲۷۷ کیلوگرم در هکتار بود که از این نظر تفاوت معنی‌داری با سایر تیمارهای مورد بررسی در این آزمایش داشتند (جدول ۵). به‌طور کلی، نتایج این پژوهش نشان داد که وقوع تنش گرمای آخر فصل منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد دانه کلیه ارقام شد؛ به گونه‌ای که ارقام صفه، پرنیان، فرامان و گلدشت به‌ترتیب به میزان ۵۳، ۴۴، ۶۰ و ۴۷ درصد کاهش عملکرد دانه را در تاریخ کاشت سوم نسبت به تاریخ کاشت مطلوب نشان دادند که این میزان به‌ترتیب برابر با ۱/۳۲، ۱/۱، ۱/۵ و ۱/۱۷ درصد به‌ازای هر روز تأخیر در تاریخ کاشت بود. از دلایل این کاهش قابل توجه عملکرد، می‌توان به کاهش طول دوره‌رشد گیاه و برخورد مراحل حساس رشدی گیاه با دمای بالا و بادهای گرم و خشک انتهای فصل اشاره کرد (طول دوره‌ی رشد و مراحل فنولوژیکی ارقام مورد بررسی در تاریخ‌های مختلف کشت در جدول ۳ نشان داده است). نتایج این جدول نشان داد که با وجود تأخیر ۲۰ روزه (تاریخ کاشت دوم) و ۴۰ روزه (تاریخ کاشت سوم) به نسبت تاریخ کاشت اول، برداشت کلیه واحدهای آزمایشی هم‌زمان صورت گرفت که این امر نشان از کوتاه شدن طول دوره رشد ارقام مورد بررسی در تاریخ کاشت دوم و سوم داشت. در تاریخ کاشت اول، ارقام گلرنگ مورد بررسی در این پژوهش دارای طول دوره روزت ۳۰ تا ۳۵

روزه، طول دوره گلدهی ۱۰ تا ۱۴ روزه و پرشدن دانه ۲۸ تا ۳۵ روزه بودند که از این نظر بین ارقام اختلاف زیادی در مراحل فنولوژیکی مشاهده نشد. در مقابل طول این مراحل با تأخیر در تاریخ کاشت ارقام، شدیداً تحت تأثیر قرار گرفتند؛ به طوری‌که در تاریخ کاشت سوم، عملاً دوره روزت مشاهده نشد و طول دوره گلدهی و پرشدن دانه به‌ترتیب به ۸ –۱۰ و ۱۷–۲۰ روز کاهش یافتند (جدول ۳). دلیل این کاهش در طول دوره مراحل فنولوژیکی ارقام گلرنگ در کاشت تأخیری را می‌توان به علت افزایش دمای محیط در انتهای فصل رشد نسبت داد (جدول ۳). در این راستا محققان گزارش کردند که تاریخ‌های کاشت مختلف سبب مواجه‌شدن دوران رشد رویشی و زایشی گیاه با شرایط محیطی متفاوت گردیده و از این طریق بر نمو، تولید شاخ و برگ و عملکرد گیاهان اثر می‌گذارد؛ به طوری‌که با تأخیر در کشت‌های پاییزه گلرنگ، دمای هوا و طول روز افزایش یافته و نمو گیاه تسریع می‌یابد، بنابراین فرصت کافی برای رشد رویشی و پرشدن دانه‌ها وجود نداشته و با هم‌زمانی دوره گرده‌افشانی گیاه با دماهای بالا، اجزای عملکرد گیاه نیز کاهش می‌یابد و در نهایت منجر به کاهش عملکرد دانه می‌گردد که البته این کاهش بسته به میزان تحمل ارقام مختلف می‌تواند متفاوت باشد (Shahsavari *et al.*, 2012; Safara *et al.*, 2016). پاسبان اسلام در بررسی اثر تاریخ‌های مختلف کاشت (۱۰، ۲۰ و۳۰ فروردین و ۹ اردیبهشت ماه) در کاهش دوره رشد ارقام گلرنگ بهاره (گلدشت، صفه و سینا) در اقلیم سرد گزارش داد که بیشترین عملکرد دانه و روغن در هر دو سال آزمایش از تاریخ کاشت ۱۰ فروردین ماه به‌دست آمد و با تأخیر در تاریخ کاشت تا ۹ اردیبهشت ماه، عملکردها به‌طور معنی‌داری کاهش یافتند (Pasban Eslam, 2018). نتایج تعیین تاریخ کاشت مناسب ارقام گلدشت، پدیده و سینا طی کشت پاییزه در منطقه ورامین روشن ساخت که تاریخ کاشت با رقم اثر متقابل معنی‌داری داشته و در کشت نیمه آبان ماه بیشترین عملکرد دانه با ۳۳۹۵ کیلوگرم در هکتار به رقم گلدشت اختصاص داشت (Samadi-Firouzabadi and Yazdani, 2012).

عملکرد زیست‌توده (بیولوژیک) و شاخص برداشت

برهم‌کنش معنی‌داری بین تاریخ‌های مختلف کاشت با ارقام گلرنگ از نظر عملکرد زیست‌توده در سطح یک درصد مشاهده شد (جدول ۴) و از این نظر واکنش عملکرد زیست‌توده به تنش گرما، روندی یکسان با واکنش عملکرد دانه ولی با شدت بیشتر بود؛ به‌عبارتی با تأخیر در تاریخ کاشت و به تبع آن وقوع تنش گرما، عملکرد زیست‌توده درصد کاهش بیشتری نسبت به عملکرد دانه نشان داد. بیشترین میزان عملکرد زیست‌توده مربوط به رقم فرامان در تاریخ کاشت اول با میانگین ۲۳۳۵۲ کیلوگرم در هکتار بود که نسبت به سایر تیمارهای مورد بررسی اختلاف معنی‌داری داشت و کمترین میزان عملکرد زیست‌توده نیز در تاریخ کاشت سوم، مربوط به رقم پرنیان با میانگین ۵۸۵۷ کیلوگرم در هکتار بود. اگرچه بین ارقام صفه، پرنیان و فرامان تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (جدول ۵). عملکرد زیست‌توده از عوامل مهم تأثیرگذار بر عملکرد دانه است. این صفت نشان‌دهنده‌ی ظرفیت گیاه در جذب نور و تبدیل انرژی نورانی به شیمیایی است (Reynolds *et al.*, 2009). کاهش عملکرد زیست‌توده ارقام گلرنگ تحت تأثیر تنش گرما در مطالعات پیشین نیز گزارش شده است (Sahu and Thakur, 2016). در این راستا حیدری زاده (Heidari Zadeh, 2004) بیان داشت که به تأخیر انداختن تاریخ کاشت گلرنگ باعث تسریع مراحل نموی گیاه از جوانه‌زنی تا گلدهی شده و دوره تشکیل اجزای عملکرد گیاه با دمای بالای انتهای فصل رشد برخورد نموده که منجر به کاهش وزن خشک گیاه خواهد شد.

برخلاف عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت تنها تحت تأثیر اثرات اصلی رقم و تاریخ کاشت در سطح یک درصد قرار گرفت (جدول ۳). در بین تاریخ‌های مختلف کاشت بیشترین میزان شاخص برداشت با میانگین ۲۴/۵ درصد در تاریخ کاشت سوم مشاهده شد که البته از این نظر اختلاف معنی‌داری با تاریخ کاشت دوم نداشت. کمترین میزان شاخص برداشت نیز مربوط به تاریخ کاشت اول با میانگین ۱۸ درصد بود (جدول ۶). در مقابل، نتایج مقایسه میانگین، حاکی از تفاوت ناچیز بین ارقام گلرنگ از نظر صفت شاخص برداشت بود. بیشترین میزان شاخص برداشت مربوط به رقم پرنیان با میانگین ۲۵/۷ درصد بود، اگرچه با رقم فرامان (۲۱/۷)، تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶). بالا بودن شاخص برداشت حاکی از توان تخصیص بیشتر مواد فتوسنتزی به مخزن است که این امر می‌تواند، برتری فیزیولوژیکی مهمی به‌ویژه در شرایط تنش‌های محیطی باشد (Reynolds *et al.*, 2005). داداشی و خواجه‌پور در بررسی اثر تاریخ‌های مختلف کاشت (۲۱ اسفند ۱۳۷۸، ۲۳ فروردین، ۲۰ اردیبهشت، ۱۸ خرداد و ۲۱ تیر ۱۳۷۹) برصفت شاخص برداشت چهار ژنوتیپ (اراک، ۲۸۱۱، توده محلی، نبراسکا ۱۰ و ورامین ۲۹۵) گزارش دادند که تاریخ‌های کاشت اثرات معنی‌داری بر شاخص برداشت ارقام مورد بررسی داشتند به گونه‌ای که بیشترین میزان شاخص برداشت در تاریخ کاشت چهارم (۱۸ خرداد) با میانگین ۳۰ درصد و کمترین شاخص برداشت درتاریخ کاشت سوم (۲۰ اردیبهشت) با میانگین ۲۲ درصد ثبت و مشاهده شدند. نامبردگان گزارش دادند که با تأخیر کاشت از تاریخ کاشت اول تا تاریخ کاشت سوم، شاخص برداشت کاهش ولی با تأخیر کاشت از کاشت سوم به کاشت چهارم، شاخص برداشت افزایش یافت و علت آن را اینگونه بیان کردند که در تاریخ کاشت سوم، به خاطر برخورد دوران نمو دانه با دماهای بالاتر، انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها به‌طور مطلوب صورت نگرفته است و در نتیجه عملکرد اقتصادی تأثیر سوء بیشتری نسبت به عملکرد

بیولوژیکی ناشی از تأخیر در کاشت متحمل شده است. ولی در تاریخ کاشت چهارم، به دلیل پایین‌تر بودن دما و طولانی‌تر بودن دوران نمو دانه، انتقال مواد فتوسنتزی به دانه‌ها به خوبی صورت گرفته، عملکرد دانه بیشتری تولیدی شده و در نتیجه شاخص برداشت بالاتری به‌دست آمد (Dadashi and Khajehpour, 2005).

جدول ٤- تجزیه واریانس صفات مورفوفیزیولوژیک ارقام گلرنگ در شرایط تنش گرمای آخر فصل

Table 4- Analysis of variance for morpho-physiological traits of safflower cultivars under terminal heat stress

		میانگین مربعات							
SOV	**df**	**عملکرد دانه Grain yield**	**عملکرد بیولوژیک Biological yield**	**شاخص برداشت Harvest index**	**درصد روغن Oil percentage**	**عملکرد روغن Oil yield**	**غلظت کلروفیل کل Total chlorophyll concentration**	**فعالیت کاتالاز CAT activity**	**فعالیت پراکسیداز POX activity**
Block	2	57322 ^{ns}	5918867 ^{ns}	43.16 ns	11.67 ns	30417 ns	0.0051	0.0000094	0.000035
Sowing date (A)	2	9255180 **	419236382**	132.7 **	79.69 **	986782 **	0.13 **	0.0065 **	0.031 **
E(A)	4	27369	6853382	55.1	1.63	10720	0.0092	0.000011	0.000038
Cultivar (B)	3	1332962 **	32067354**	55.3 **	28.58 ^{ns}	177598 **	0.0085 ns	0.00026 **	0.0033 **
A ×B	6	274732**	10157513 **	18.7 ^{ns}	20.18 ^{ns}	41246 **	0.0056 ns	0.00011**	0.0021 **
E(ab)	18	0874	2261133	12.4	13.16	9164	0.002	0.000018	0.000051
CV (%)		7.05	12.22	16.19	13.22	13.77	3.54	17.99	7.69

ns ، * و **: به‌ترتیب غیر معنی‌دار و معنی‌دار در سطح احتمال ۵٪ و ۱٪

ns, * and **: non-significant and significant at 5 and 1% probability levels, respectively.

جدول ٥- مقایسه میانگین اثر متقابل صفات مورفوفیزیولوژیک ارقام گلرنگ در شرایط تنش گرمای آخر فصل

Table 5- Mean comparison of morpho-physiological traits of safflower cultivars under terminal heat stress

Treatments		**عملکرد بیولوژیک Biological yield (kg.ha^{-1})**	**عملکرد دانه Grain yield (kg.ha^{-1})**	**عملکرد روغن Oil yield (kg.ha^{-1})**	**فعالیت کاتالاز CAT activity (U/mg protein)**	**فعالیت پراکسیداز POX activity (U/mg protein)**
Sowing date (11 December)	Sofeh	16251 c	2745 cd	842 cd	0.05552 ab	0.07719 e
	Parnian	16036 c	2986 c	792 cd	0.05289 b	0.05096 g
	Faraman	23352 a	4151 a	1231 a	0.06164 a	0.03785 h
	Goldasht	19482 b	3627 b	1027 b	0.03333 c	0.09147 d
Sowing date (31 December)	Sofeh	10395 e	1984 f	465 ef	0.01402 de	0.06963 ef
	Parnian	10051 e	2573 de	747 d	0.00952 de	0.05194 g
	Faraman	13144 d	2940 c	942 bc	0.01635 d	0.06265 fg
	Goldasht	10072 e	2380 e	693 d	0.00761 e	0.06787 ef
Sowing date (11 January)	Sofeh	5907 f	1277 h	303 f	0.00975 de	0.12411 b
	Parnian	5857 f	1669 g	366 ef	0.00842 e	0.10762 c
	Faraman	7230 f	1651 g	412. ef	0.00998 de	0.18862 a
	Goldasht	9825 e	1887 fg	520 e	0.00902 de	0.19098 a

* میانگین‌های دارای یک حرف مشترک برای هر ستون میانگین، اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means followed by the same letters for each factor are not significantly different by the Duncan test at 5% probability level.

جدول ٦- مقایسه میانگین صفات مورفوفیزیولوژیک ارقام گلرنگ در شرایط تنش گرمای آخر فصل

Table 6- Mean comparison of morpho-physiological traits of safflower cultivars under terminal heat stress

Sowing date	**غلظت کلروفیل کل Total chlorophyll concentration (mg.g^{-1}fw)**	**شاخص برداشت Harvest index**	**درصد روغن % Oil**
(11 December)	28.79a	18.08 b	1.366 c
(31 December)	29.04 a	22.70 a	1.452 b
(20 January)	24.45 b	24.54 a	1.575 c
Cultivar			
Sofeh	19.25 b	19.2 b	1.423 b
Parnian	25.16 a	25.1 a	1.458 ab
Faraman	21.68 ab	21.6 ab	1.490 a
Goldasht	21.02 b	21 b	1.458 a

* میانگین‌های دارای یک حرف مشترک برای هر ستون از میانگین، اختلاف معنی‌داری با استفاده از آزمون دانکن در سطح احتمال پنج درصد ندارند.

Means followed by the same letters for each factor are not significantly different by the Duncan test at 5% probability level

درصد و عملکرد روغن

نتایج تجزیه واریانس درصد روغن نشان داد که این صفت تنها تحت تأثیر تاریخ کاشت قرار گرفت (جدول ۴). بیشترین میزان روغن با میانگین ۲۹ درصد مربوط به تاریخ کاشت دوم بود که البته از این نظر با تاریخ کاشت اول (۲۸/۸ درصد)، اختلاف معنی‌داری نداشت و کمترین میزان درصد روغن در تاریخ کاشت سوم، با میانگین ۲۴/۴ درصد ثبت شد (جدول ۶)؛ در مقابل از نظر عملکرد روغن، ارقام مورد بررسی واکنش متفاوتی را نسبت به شرایط دمایی انتهای فصل رشد نشان دادند؛ به گونه‌ای بیشترین میزان عملکرد روغن مربوط به رقم فرامان با میانگین ۱۲۳۱ کیلوگرم در هکتار در شرایط مناسب دمایی (تاریخ کاشت ۲۰ آذر) بود که بالا بودن این صفت در رقم فرامان را می‌توان به پتانسیل بالای این رقم در عملکرد دانه نسبت داد (جدول ۵). با این وجود، تنش گرما به‌واسطه تأخیر در تاریخ کاشت منجر به کاهش معنی‌دار عملکرد روغن کلیه ارقام مورد بررسی در این پژوهش شد. تحت این شرایط، کمترین میزان عملکرد روغن در رقم صفه با ۳۰۳ کیلوگرم در هکتار مشاهده شد که البته از این نظر با سایر ارقام در تاریخ کاشت سوم، تفاوت معنی‌داری نداشت (جدول ۶). گزارشات زیادی مبنی بر کاهش روغن دانه گلرنگ به دلیل هم‌زمان شدن دوره پرشدن دانه با دمای بالا وجود دارد. در این زمینه امیدی و شریفی مقدس (Omidi and Sharifmogadas, 2010) در بررسی‌های خود بر روی گیاه گلرنگ اظهار داشتند که تنش حرارتی بر میزان و کیفیت روغن (عدد یدی) تأثیر گذاشته و با افزایش دمای محیط، درصد روغن به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد. در واقع تنش گرما منجر به کاهش توان تولید گیاه شده و سنتز متابولیت‌های اولیه و ثانویه در گیاه را مختل می‌کند و از این طریق بر میزان روغن دانه اثر منفی می‌گذارد.

غلظت کلروفیل کل

کلروفیل و رنگدانه‌های فتوسنتزی از مهم‌ترین عوامل مؤثر بر ظرفیت فتوسنتزی گیاهان هستند، زیرا به‌طور مستقیم بر سرعت و میزان فتوسنتز و درنهایت تولید زیست‌توده مؤثر هستند. نتایج نشان داد که تنش گرما منجر به افزایش غلظت کلروفیل کل شد؛ به گونه‌ای که بیشترین میزان این صفت با میانگین ۱/۵۷میلی‌گرم در گرم وزن تر در تاریخ کاشت سوم مشاهده شد که از این نظر، تفاوت معنی‌داری با دو تاریخ کاشت دوم و سوم (به‌ترتیب ۱/۴۵ و ۱/۳۶ میلی‌گرم در گرم وزن خشک) داشت (جدول ۶). محققان علت این افزایش را به افزایش تراکم سلول‌های کلروپلاست در واحد سطح برگ، در نتیجه کاهش ابعاد سلول نسبت می‌دهند (Lombardini, 2005). اگرچه گزارشات زیادی مبنی بر کاهش میزان کلروفیل تحت تنش گرما نیز در دست می‌باشد که علت آن را به کاهش میزان سنتز کلروفیل، افزایش فعالیت گونه‌های فعال اکسیژن و افزایش فعالیت کلروفیلاز تحت تنش گرما نسبت دادند (Dhyani *et al*., 2013; Nawaz *et al*., 2013). در بین ارقام مورد بررسی نیز، رقم فرامان با میانگین ۱/۴۹ میلی‌گرم در گرم وزن تر، بیشترین میزان کلروفیل کل در برگ را داشت که البته از این نظر با ارقام گلدشت و پرنیان تفاوت معنی‌داری از این نظر نداشت (جدول ۶).

فعالیت‌های آنزیمی کاتالاز و پراکسیداز

بررسی فعالیت آنزیمی کاتالاز نشان داد که ارقام مورد مطالعه گلرنگ تحت شرایط دمایی آخر فصل، عکس‌العمل متفاوتی را بروز داده و به‌طور کلی با افزایش شدت تنش گرما به‌واسطه تأخیر در تاریخ کاشت و هم‌زمانی با دمای بالای انتهای دوره‌ی رشد، میزان فعالیت آنزیم کاتالاز به‌طور معنی‌داری کاهش یافت (جدول ۵). بیشترین میزان فعالیت این آنزیم مربوط به رقم فرامان در شرایط دمایی مطلوب (شاهد) با میانگین ۰/۰۶۱ U/mg protein و کمترین میزان فعالیت آن مربوط به رقم گلدشت در تاریخ کاشت تأخیری (۱۰ دی) با میانگین ۰/۰۰۷۶ U/mg protein بود که البته از این نظر با رقم پرنیان تحت شرایط تنش گرما (تاریخ کاشت ۳۰ دی) با میانگین ۰/۰۰۸۴ U/mg protein تفاوت معنی‌داری نداشت. تحقیقات نشان داده است که یکی از پیامدهای تنش گرما در گیاهان، وقوع تنش اکسیداتیو به‌واسطه ایجاد گونه‌های اکسیژن فعال است که لازم است گیاهان جهت ادامه‌ی رشد و نمو خود، از تنش اکسیداتیو ناشی از گرما مصون بمانند (Hasanuzzaman *et al*., 2013). یکی از راه‌های کاهش اثرات تنش اکسیداتیو ناشی از تنش دمای بالا، افزایش ظرفیت آنتی‌اکسیدانی گیاه تحت تنش است (Moller *et al*., 2007). گیاهان جهت حذف گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر و کاهش اثرات تخریبی تنش اکسیداتیو، آبشاری از مسیرهای آنتی‌اکسیدانتی آنزیمی و غیرآنزیمی را فعال می‌کنند. کاتالاز یکی از آنزیم‌های آنتی‌اکسیدانتی است که در مسیر پاک‌سازی گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر بوده که منجر به تسریع تجزیه‌ی پراکسیدهیدروژن می‌شود. با این وجود نتایج حاصل از این پژوهش حاکی از کاهش معنی‌دار میزان فعالیت کاتالاز با افزایش شدت گرما بود. هم راستا با این نتایج شهید و همکاران در بررسی تأثیر تغییرات بیوشیمیایی ناشی از تنش گرمای انتهای فصل رشد بر خصوصیات مورفولوژیکی ژنوتیپ‌های گندم پاکستان گزارش دادند که دامنه تغییرات زیادی بین ژنوتیپ‌های مختلف گندم از نظر میزان فعالیت آنزیمی کاتالاز در شرایط شاهد و تنش گرما مشاهده شد، به طوری که اکثر ژنوتیپ‌های مورد بررسی تحت تنش گرما با کاهش میزان فعالیت این آنزیم مواجه شدند (Shahid *et al*., 2017). اگرچه نتایج دیگری مبنی بر افزایش فعالیت آنزیمی کاتالاز تحت تنش گزارش شده است (Chakraborty and Pradhan, 2011).

در مقابل نتایج مقایسه میانگین حاکی از افزایش فعالیت آنزیم پراکسیداز تحت تنش گرما بود و بین ارقام مورد مطالعه تفاوت معنی‌داری مشاهده شد (جدول ۴). بیشترین میزان فعالیت پراکسیداز تحت تنش گرما (تاریخ کاشت ۳۰ دی) با میانگین U/mg protein ۰/۱۹۰ و ۰/۱۸۸ به‌ترتیب مربوط به ارقام گلدشت و فرامان بود (جدول ۵). پراکسیداز یکی از آنزیم‌های کلیدی در مسیر حذف گونه‌های اکسیژن واکنش‌گر بوده که در چرخه فعالیت معمول خود کاتالیزکننده احیای پراکسید هیدروژن می‌باشد. این آنزیم نقش بسیار مهمی جهت افزایش تحمل گیاه در برابر تنش اکسیداتیو به‌واسطه تجزیه سریع پراکسید هیدروژن را برعهده دارد. در این راستا چاکرابورتی و پرادان (Chakraborty and Pradhan, 2011) مشاهده کردند که فعالیت آنزیم‌های کاتالاز، آسکوربات پراکسیداز و سوپراکسید دیسموتاز تا دمای ۵۰ درجه سانتی‌گراد افزایش و پس از این دما کاهش نشان دادند، در حالی که فعالیت آنزیم‌های پراکسیداز و گلوتاتیون ردوکتاز در دامنه دمایی ۲۰ تا ۵۰ درجه سانتی‌گراد با کاهش میزان فعالیت مواجهه بودند. علاوه بر این، حداکثر فعالیت کل آنتی‌اکسیدانی در ارقام متحمل در دمای ۳۵-۴۰ درجه سانتی‌گراد و در ارقام حساس در دمای ۳۰ درجه سانتی‌گراد بود که البته این میزان فعالیت آنزیمی بسته به تحمل یا حساسیت انواع مختلف گیاهان زراعی، مراحل رشدی و فصل رشد آن‌ها متفاوت است (Chakraborty and Pradhan, 2011). به‌طور کلی نتایج این پژوهش کاهش میزان فعالیت آنزیمی کاتالاز و افزایش فعالیت پراکسیداز را تحت تنش گرما نشان داد که البته از این نظر ارقام مورد مطالعه واکنش متفاوتی را بروز دادند. علت واکنش متفاوت این دو آنزیم را می‌توان به مشترک بودن سوبسترا (پراکسید هیدروژن) و فعالیت بیشتر پراکسیداز تحت تنش گرما در ارقام گلرنگ نسبت داد.

شاخص‌های تحمل به تنش

در این پژوهش، اثرات تغییر رژیم حرارتی بر پایداری تولید ارقام گلرنگ از طریق محاسبه شاخص‌های حساسیت و تحمل ارقام به تنش گرما مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به اینکه مقادیر عددی پایین‌تر شاخص حساسیت به تنش (SSI) نشان‌دهنده تحمل بالای ارقام به تنش گرمایی است (Fernandez, 1992)، لـذا ارقام پرنیان و گلدشت بـا مقـادیر ۰/۸۵ و ۰/۹۲ از تحمل بالایی برخوردار بودند؛ در حالی‌که ارقام فرامان و صفه با شاخص ۱/۱۶ و ۱/۰۳ حساسیت زیادی نسبت به تنش داشتند (جدول ۷). از آنجایی که در شاخص حساسیت به تنش اگر رقمی در هر دو شرایط تنش و عدم تنش دارای عملکرد بالاتری بوده اما درصد تغییرات آن زیاد باشد، به‌عنوان رقم متحمل شناسایی نمی‌شود، بر این اسـاس کمترین تغییرات مربوط بـه ارقام پرنیان و گلدشت بوده است.

اما برای شاخص تحمل به تنش (STI) ارقام گلدشت و فرامان هر دو با میانگین ۰/۶۰ از مقادیر بیشتری برخوردار بودند (جدول ۷). باتوجه به اینکه در این شاخص، احتمالاً ارقامی که به‌عنوان متحمل شناسایی می‌شوند بـه دلیل داشتن عملکرد پایین و بالا به‌ترتیـب در شـرایط تنش و بدون تنش، لزوماً متحمل نباشند؛ لذا این شاخص زمانی قابل اعتماد و معتبر است که رقم یا ژنوتیـپ مورد نظـر از عملکرد بالایی در محیط تنش نیز بـرخوردار باشـد (Fischer and Maurer, 1978; Gilani *et al*., 2009)، بـا توجه به این موضوع، ارقام فرامان و گلدشت دارای تولید نسبتاً خوبی در شرایط تنش بودند.

بررسی شاخص تحمل (TOL) نشان داد که ارقام پرنیان و صفه با مقادیر کمتر، دارای تحمل نسبی بیشتری بودند (جدول ۷). در واقـع ایـن شاخص بـه نوعی تغییر حاصل از شرایط تنش را بیان می‌کند، لذا ارقام دارای مقدار پایین‌تری از این شاخص، از تغییرات کمتری نیـز برخوردار می‌باشند و بالعکس. در ایـن راستا دو رقـم پرنیان و صفه مقادیر کمتری نسبت به سایر ارقام داشتند. از طرف دیگر درصدکاهش عملکرد دانـه درشـرایط تنش در مقایسه با بدون تنش در ارقام پرنیان و گلدشت بـه مراتب کمتر از رقم‌های دیگر (صفه و فرامان) بوده است. این نتایج بیانگر وجود تنوع ژنتیکی ارقام در واکنش به تنش گرما و سازوکارهای مقابله بـا آن می‌باشد کـه امکان توسعه ارقام جدید گلرنگ را از طریـق برنامه‌های به‌نژادی فراهم می‌سازد.

جدول ۷- برآورد شاخص‌های تحمل و حساسیت به گرما و درصد کاهش برای عملکرد دانه چهار رقم گلرنگ زراعی در دو تاریخ کاشت (۲۰ آذر به عنوان شاهد و ۳۰ دی به‌عنوان تنش شدید گرما)

of four rice cultivars in Table 7- Estimation of tolerance and susceptibility indices and reduction percentage for grain yield two sowing dates

Reduction (%)	*STI* (Stress Tolerance Index)	*TOL* (Tolerance)	*SSI* (Stress Susceptibility Index)	Ys (kg.ha^{-1})	Yp (kg.ha^{-1})	Cultivar
Sofeh	2745.1	1277.3	1.03	1467.8	0.31	53.5
Parnian	2985.8	1668.9	0.85	1316.9	0.44	44.1
Faraman	4151.1	1650.8	1.16	2500.3	0.60	60.2
Goldasht	3626.7	1887.3	0.92	1739.4	0.60	48.0
Mean	3377.1	1621.06				

Yp: میانگین عملکرد دانه یک رقم در محیط بدون تنش (شاهد)

Ys: میانگین عملکرد دانه یک رقم در محیط تنش (تاریخ کاشت سوم)

نتایج همبستگی بین صفات

نتایج نشان داد که در بین صفات مورد بررسی، عملکرد زیست‌توده بیشترین میزان همبستگی را با عملکرد دانه داشت (r= 0.96**). عملکرد زیست‌توده به نوعی بیانگر پتانسیل و قدرت منبع می‌باشد؛ لذا بالا بودن این صفت می‌تواند پتانسیل تولیدی دانه ارقام گلرنگ را مشخص نماید. همچنین میزان فعالیت آنزیم پراکسیداز همبستگی منفی و معنی‌داری را با عملکرد دانه (r= -0.64*) نشان داد (جدول ۸). همان‌طور که در بخش بررسی فعالیت‌های آنزیمی بیان شد، فعالیت آنزیم پراکسیداز در ارقام گلرنگ به‌ویژه در شرایط تنش گرما افزایش یافت و از این نظر ارقام گلرنگ تفاوت معنی‌داری را داشتند؛ با این حال افزایش فعالیت این آنزیم با عملکرد دانه همبستگی منفی داشت که محققان علت آن را به مصرف مواد فتوسنتزی و در نتیجه مصرف انرژی جهت افزایش فعالیت‌های آنزیمی نظیر پراکسیداز نسبت می‌دهند.

جدول ۸- ضرایب همبستگی بین صفات مورفوفیزیولوژیک ارقام گلرنگ

Table 8- Correlations coefficient between morpho-physiological traits of safflower cultivars

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
عملکرد دانه Grain yield (1)	1.00							
عملکرد بیولوژیک Biological yield (2)	0.96 **	1.00						
شاخص برداشت Harvest index (3)	-0.53 ns	-0.71 **	1.00					
درصد روغن Oil percentage (4)	0.64 *	0.55 ns	-0.37 ns	1.00				
عملکرد روغن Oil yield (5)	0.98 **	0.93 **	-0.53 ns	0.75 **	1.00			
فعالیت کاتالاز CAT activity (6)	0.75 **	0.87 **	-0.70 *	0.33 ns	0.72 **	1.00		
فعالیت پراکسیداز POX activity (7)	-0.64 *	-0.55 ns	0.25 ns	-0.43 ns	-0.63 *	-0.49 ns	1.00	
غلظت کلروفیل کل Total chlorophyll concentration (8)	-0.68 *	-0.74 **	0.62 *	-0.40 ns	-0.64 *	-0.76 **	0.72 **	1.00

ns، * و ** به‌ترتیب غیر معنی‌دار، معنی‌دار در سطح احتمال پنج درصد و یک درصد می‌باشد.

ns, * and ** not significant and significant at 5% and 1% probability levels, respectively.

نتیجه‌گیری

نتایج این پژوهش نشان داد که در بین ارقام موجود و معرفی شده برای مناطق گرم و معتدل، ارقام فرامان و گلدشت به دلیل پتانسیل بالای عملکرد دانه (به‌ترتیب ۴۱۵۱ و ۳۶۲۷ کیلوگرم در هکتار)، به‌ویژه در تاریخ کاشت مطلوب (۲۰ آبان) برای مناطقی نظیر اهواز بسیار مناسب می‌باشند. با این وجود، تأخیر در کاشت ارقام گلرنگ به‌واسطه برخورد مراحل زایشی گیاه با تنش گرمای آخر فصل، منجر به کاهش عملکرد دانه و روغن، عملکرد زیست‌توده، میزان کلروفیل کل و افزایش فعالیت‌های آنزیمی نظیر پراکسیداز شد. همچنین با توجه به واکنش ارقام گلرنگ نسبت به تغییرات دمایی متفاوت در طول دوره رشد، به نظر می‌رسد رقم گلرنگ به جهت عملکرد قابل قبول و همچنین تحمل نسبی به تغییرات دمایی انتهای فصل، رقم مناسبی برای شرایط آب و هوایی اهواز باشد.

سپاسگزاری

در راستای انجام این پژوهش، از حمایت‌های مالی صندوق حمایت از پژوهشگران و فناوران کشور (INSF) سپاسگزاری می‌گردد.

References

1. Arnon, A. N. 1967. Method of extraction of chlorophyll in the plants. Agronomy Journal 23: 112-121.
2. Chakraborty, U., and Pradhan, D. 2011. High temperature-induced oxidative stress in *Lens culinaris*, role of antioxidants and amelioration of stress by chemical pre-treatments. Journal of Plant Interactions 6 (1): 43-52.
3. Chance, B., and Maehly, A. 1955. Assay of catalases and peroxidases. Methods in enzymology 2: 764-775.
4. Dadashi, N., and Khajehpour, M. 2005. Effect of planting date and cultivar on growth, yield components and yield of safflower in Isfahan, Science and Technology of Agricultural and Natural Resources 8 (3): 95-112.
5. Dhindsa, R. S., Plumb-Dhindsa, P., and Thorpe, T. A. 1981. Leaf senescence: correlated with increased levels of membrane permeability and lipid peroxidation, and decreased levels of superoxide dismutase and catalase. Journal of Experimental Botany 32: 93-101.

6. Dhyani, K., Ansari, M. W., Rao, Y. R., Verma, R. S., Shukla, A., and Tuteja, N. 2013. Comparative physiological response of wheat genotypes under terminal heat stress. Plant Signaling & Behavior 8 (6): e24564.
7. Fernandez, G. C. 1992. Effective selection criteria for assessing plant stress tolerance. In: proceeding of the International symposium on adaptation of vegetables and other crops in temperature and water stress. Taiwan, 13-16 August 1992, 257-270.
8. Fischer, R. A., and Maurer, R. 1978. Drought resistance in spring wheat cultivars. I. Grain yield responses. Australian Journal of Agricultural Research 29 (5): 897-912.
9. Gilani, A. A., Siadat, S. A., Alami-Saeed, K., Bakhshandeh, A. M., Moradi, F., and Seidnejad, M. 2009. Effect of heat stress on grain yield stability, chlorophyll content and cell membrane stability of flag leaf in commercial rice cultivars in Khuzestan. Iranian Journal of Crop Sciences 11 (1): 82-100.
10. Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Alam, M., Roychowdhury, R., and Fujita, M. 2013. Physiological, biochemical, and molecular mechanisms of heat stress tolerance in plants. International Journal of Molecular Sciences 14 (5): 9643-9684.
11. Heidari Zade, P. 2004. The effect of temperature and day length on safflower generative and reproductive growth (Kuseh cultivar). MSc Thesis. Industrial University of Isfahan. (in Persian).
12. Latif, S., and Anwar, F. 2008. Quality assessment of Moringa concanensis seed oil extracted through solvent and aqueous-enzymatic techniques. Grasas y aceites, 59 (1): 69-75.
13. Lombardini, L., Harris, M. K., and Glenn, D. M. 2005. Effects of particle film application on leaf gas exchange, water relations, nut yield, and insect populations in mature pecan trees. HortScience 40 (5): 1376-1380.
14. Moller, I. M., Jensen, P. E., and Hansson, A. 2007. Oxidative modifications to cellular components in plants. Annual Review of Plant Biology 58: 459-481.
15. Moosavi, S. G., Seghatoleslami, M., and Ansarinia, E. 2014. Fennel morphological traits and yield as affected by sowing date and plant density. Advance in Agriculture and Biology 2: 45-49.
16. Nawaz, A., Farooq, M., Cheema, S. A., and Wahid, A. 2013. Differential response of wheat cultivars to terminal heat stress. International Journal of Agriculture and Biology 15 (6): 1354-1358.
17. Omidi, A. H., and Sharifmogadas, M. R. 2010. Evaluation of Iranian Safflower cultivars reaction to different sowing date and plant densities. World Applied Science Journal 8: 953-958.
18. Oz, M. 2016. Relationship between sowing time, variety, and quality in safflower. Journal of Chemistry 2016. 8
19. Pasban Eslam, B. 2018. Effect of planting date on reducing growth period of spring safflower cultivars in Tabriz cold and semi-arid climate. Iranian Journal of Field Crops Research 15 (4): 851-860.
20. Pasban Eslam, B. 2003. Evaluation of fall safflower cultivars in different planting dated in khosrowshahr of Tabriz. Final Report of Research Project. No. 83.305. AREEO. Pp.: 8-15. (in Persian with English abstract).
21. Reynolds, M. P., and Lopes, M. S. 2009. Partitioning of assimilates to deeper roots in associated with cooler canopies and increased yield under drought in wheat. Functional Plant Biology 183: 129-136.
22. Reynolds, M. P., Pellergrineschi, A., and Skovmand, B. 2005. Sink –Limitation to yield and biomass: A summary of some investigations in spring wheat. Annals of Applied Biology 146 (1): 39-49.
23. Safara, N., Telavat, M. R. M., Siadat, S. A., Koochekzadeh, A., and Mousavi, S. H. 2016. Effect of sowing date and sulfur on yield, oil content and grain nitrogen of safflower (*Carthamus tinctorius* L.) in autumn cultivation. Iranian Journal of Field Crops Research 14 (3): 438-448.
24. Sahu, J., and Thakur, N. S. 2016. Response of date of sowing on yield and yield attributes of safflower cultivars. An International Quarterly Journal of life Sciences 11 (1): 503-507.
25. Samadi-Firouzabadi, B., and Yazdani, F. 2012. Effect of planting date on seed and oil yields of four safflower cultivars in Varamin areas. Seed and Plant Journal 2 (4): 459-470.
26. Shahid, M., Saleem, M. F., Anjum, S. A., Shahid, M., and Afzal, I. 2017. Biochemical markers assisted screening of Pakistani wheat (*Triticum aestivum* L.) cultivars for terminal heat stress tolerance. Pakistan Journal of Agriculture Sciences 54 (4): 817-825.
27. Shahsavari, M., Yasari, T., and Omidi, A. H. 2012. Effect of planting date on developmental stages and some agronomic traits of spring safflower cultivars. Iranian Journal of Field Crops Research 10 (2). 392-400.
28. Torabi, B., Adibniya, M., and Rahimi, A. 2015. Seedling emergence response to temperature in safflower: measurements and modeling. International Journal of Plant Production 9 (3): 393-412.
29. Uzun, B., Zengın, Ü., Furat, S., and Akdesır, Ö. 2009. Sowing date effects on growth, flowering, oil content and seed yield of canola cultivars. Asian Journal of Chemistry 21 (3): 1957-1965.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 17, No. 3, Fall. 2019, p. 491-502

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۷، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۸، ص. ۵۰۲-۴۹۱

Effect of Terminal Heat Stress on Some Agronomic, Physiological and Oil Yield Traits of Safflower Cultivars (*Carthamus tinctorius* L.) under Ahvaz Conditions

F. Salehi[1], A. Rahnama Ghahfarokhi[2*], M. Meskarbashee[3], Kh. Mehdikhanlou[4]

Received: 05-12-2018
Accepted: 14-04-2019

Introduction

Terminal heat stress is a major abiotic stress especially in tropical and sub-tropical regions that severely reduces crop growth and yield. Safflower (*Carthamus tinctorius* L.) is an oilseed crop grown mainly for the production of high quality edible oil rich in polyunsaturated acids. This annual crop is native to a climate with a long dry season and a limited rainy season and compares to other annual crops has more resistance to drought stress. In addition, it's resistant to some diseases and susceptible to humidity. Since, to obtain the maximum yield of a crop, it is necessary to escape the development stages of (the/a) plant from unfavorable environmental factors and the full utilization of plant from favorable environmental conditions. Since the length of development stages more affected by temperature and day length, hence sowing date can be selected so that the different stages of plant growth were adapt with optimal temperature and day length. Yau (2006) indicated that later sowing of spring safflower in semi-arid and high elevation Mediterranean environment resulted in lower seed yield and later flowering does not allow an escape from the terminal drought and heat. Yau (2006) indicated that later sowing of spring safflower in semi-arid and high elevation Mediterranean environment resulted in lower seed yield and later flowering does not allow an escape from the terminal drought and heat. The aim of this study was to investigate the yield and yield components of safflower cultivars in response to different sowing data in Ahvaz.

Materials and Methods

In order to study the effect of sowing date on yield and yield components of safflower cultivars, this experiment was carried out as split plot layout based on randomized complete blocks design with three replications in at the research farm of Shahid Chamran University of Ahvaz in 2017-2018. The main factor included three levels of sowing date (11 Dec, 31 Dec and 20 Jan), and a sub factor including four cultivars of safflower (Goldasht, Parnian, Faraman and Sofeh). Data collected on all parameters were analyzed statistically using SAS software and mean comparison was carried out using Duncan test at the 5% of probability level. The studied traits included grain yield, biological yield, harvest index, oil yield, total chlorophyll concentration, catalase and peroxidase enzyme activity and stress susceptibility index.

Results and Discussion

A significant interaction was observed between the levels of sowing date and the cultivars in terms of plant height, weight of plant, biological yield and grain yield. Among the safflower cultivars, the highest weight per plant (143.3 g plant^{-1}), biological yield (23352 kg ha^{-1}), grain yield (4151.1 kg ha^{-1}) and the lowest plant high (128.8 cm), was recorded in Faraman cultivar in sowing date of 11 December. In contrast, grain yield severely decreased in the 20 January sowing date with compared to the 11 December. So that, studied cultivars of Sofeh, Parnian, Faraman and Goldasht cultivar were decreased 53% (1277.3 kg ha^{-1}), 44% (1668.9), 60% (1650.8) and 47% (1887.3), respectively. Under the heat stress, due to delayed planting date and decreased enzymatic activity of catalase, enzyme activity changed and the cultivars exposed to the terminal heat stress, but enzymatic activity of peroxidase increased. Stress susceptibility index (SSI), Parnian and Goldscht cultivars had a high tolerance with mean 0.85 and 0.92, while Faraman and Sofeh cultivars with an index of 1.16 and 1.03 had a high sensitivity to stress.

Conclusions

This research appears the delay in optimal planting date leads to synchronize the plant's reproductive stages with a high temperature at the end of the season. As a result, shorter plants, lower biological yield, lower grain and oil yield will be observed, however, the response of the cultivars from each other was different depend on their enzymatic capacity and the ability to maintain chlorophylls. Planting date should be selected such a way

1- PhD student, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
2, 3 and 4- Associate Professor, Professor and Assistant Professor, respectively, Department of Agronomy and Plant Breeding, College of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
(*- Corresponding Author Email: A.rahnama@scu.ac.ir)

that this process does not a coincidence with terminal heat season. So, under hot weather conditions in Khuzestan, selecting the optimum planting date can be an appropriate solution to reduce the negative aspects of the terminal heat stress on the grain yield and component yield of different cultivars of safflower.

Keywords: Antioxidant enzymes, Grain yield, Heat stress, Oil percentage